PHOSPHORIC ACID OBTENTION FROM PHOSPHATE ROCKS USING WET PROCESS

Suly Rodríguez Ayala [1], Eduardo Mayorga [2], Monserrat Rodríguez [3] y Salomón Chacha[4]

[1]Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador UCE. Av. América y Plaza Indoamérica. Ciudadela Universitaria, Ecuador. smrodriguez@uce.edu.ec
[2]Carrera de Química Pura. Universidad Central del Ecuador UCE. Quito, Ecuador
[3]Carrera de Medicina. Universidad de la Américas UDLA. Quito, Ecuador
[4]Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador UCE. Quito, Ecuador

Received: December 2016. Accepted: May 2017

ABSTRACT

The objective of this research is to obtain impure phosphoric acid that is going to be used as a phosphate fertilizer from a phosphate rock which could be found in the province of Sucumbíos, Cantón Gonzalo Pizarro, Parroquia Lumbaqui and sector "Volcán Reventador", at the northeast of the country. This will make that chemical producers use raw materials that exists in our country to offer a more competitive and cheaper product for Ecuadorian chemical laboratories and industries since, currently, this chemical reagent has been obtained by importation. For the extraction of phosphoric acid has been used two types of reagents: Sulfuric Acid, with a concentration of 96%, and Aqua Regia, with a 1:3 molar ratio, to compare which of these have obtained the best concentration of phosphoric acid. Thus, to obtain this Acid, it is necessary to reduce the size of the phosphate rock of the Loma del Reventador through a process of grinding and screening to reach a size between 150 and 200 mesh. Subsequently, the pulverized rock has been reacted with concentrated Sulfuric Acid or Aqua Regia for a time of 5 hours. The main products obtained using Sulfuric Acid, as a reagent, are phosphoric acid and gypsum. By other side, if Aqua Regia is used, as a reagent, has been obtained Phosphoric Acid and Calcium Chloride as a byproduct. Finally, following an extensive statistical analysis, can be concluded that has been obtained a higher concentration of phosphoric acid with a value of 20.85% (30.85 P_2O_5) extracted with Aqua Regia compared to the phosphoric acid obtained with Sulfuric Acid represented with a quantity of 23.88% (35.34 P_2O_5). Consequently, in assessing the results mentioned above, can be said that the rock phosphate from the "Loma del Reventador" offers features suitable for use as an excellent fertilizer.

OBTENCIÓN DEL ÁCIDO FOSFÓRICO A PARTIR DE UNA ROCA FOSFÓRICA POR VÍA HÚMEDA

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es la Obtención de Ácido Fosfórico impuro que será empleado como fertilizante fosfatado a partir de una roca fosfórica cuyo origen se encuentra en la provincia de Sucumbíos, Cantón Gonzalo Pizarro, parroquia Lumbaqui, sector "Volcán Reventador", al nororiente del país. De esta forma, se haría uso de la materia prima que existe en Ecuador para ofrecer un producto más competitivo y de menor costo para las industrias químicas y laboratorios ecuatorianos ya que, actualmente, este reactivo químico se obtiene por importación. Para la extracción del Ácido Fosfórico se ha utilizado dos tipos de reactivos: Ácido Sulfúrico al 96% y Agua Regia con una relación molar 1:3 comparándose con cuál de estos se ha obtenido una mejor concentración de Ácido Fosfórico. De este modo, para su obtención es necesario reducir el tamaño de la roca fosfórica de la Loma del Reventador mediante un proceso de molienda y cribado hasta llegar a un tamaño que varía entre 150 y 200 mallas. Posteriormente, dicha roca pulverizada, se hace reaccionar con Ácido Sulfúrico concentrado o Agua Regia durante 5 horas. Los productos principales obtenidos, utilizando como reactivo al ácido sulfúrico, son ácido fosfórico y yeso. Por el contrario, si se usa Agua Regia como reactivo se ha obtenido Ácido Fosfórico y Cloruro Cálcico como subproducto. A raíz de un extenso análisis estadístico, se puede concluir que se ha obtenido una mayor concentración de Ácido Fosfórico con un valor de 20,85% (30,85 P_2O_5) extraído con Agua Regia en comparación con el Ácido Fosfórico extraído con Ácido Sulfúrico con un valor de 23,88% (35,34 P_2O_5). En consecuencia, al apreciar los resultados anteriormente mencionados, se puede decir que la roca fosfórica de la Loma del Reventador ofrece características aptas para ser utilizada como fertilizante.

1. INTRODUCCIÓN

El fósforo es un componente esencial para la vida y en sus diversas formas está presente en mayor o menor proporción en prácticamente todos los alimentos, por ejemplo, es posible encontrarlo en algunos frutos como en el coco, ciruelas pasas y uvas [1]. Además, es utilizado como un producto obtenido en las industrias químicas a partir de rocas fosfóricas [2], del que sólo una parte está destinada a la industria de los alimentos y en la cual la principal aplicación es como acidificante en las bebidas refrescantes y, particularmente, en las de cola o cerveza [3]. Actualmente, se conoce que el suelo contiene varios elementos químicos que son necesarios para el crecimiento y metabolismo de las plantas [4]; los elementos más significativos son: potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, nitrógeno, fósforo, azufre, manganeso, zinc, boro y, en algunos casos, molibdeno [5], sin contar el carbono, hidrógeno y oxígeno [6], que son los constituyentes orgánicos presentes en mayores proporciones en la tierra [6]. Entre los elementos anteriormente mencionados, es necesario recalcar la importancia del fósforo que,

debido a sus propiedades, es de mayor interés para la industria agrícola, ya que ésta no posee ningún sustituto que pueda reemplazarlo y, por lo tanto, la roca fosfórica constituye la fuente tradicional del mismo [7]. Por otra parte, la explotación constante de los terrenos sin aplicación del fósforo acaba rápidamente las reservas de este elemento en el suelo, creando problemas de producción y calidad [8]. Por ejemplo, la deficiencia de fósforo en las plantas suele comenzar en las hojas con un verde oscuro apagado seguido de un color rojizo o púrpura característicos y, por último, llegan a secarse [9]; asimismo, produce tallos finos y cortos con hojas pequeñas [10]. A pesar de los ingentes beneficios y características que retribuye el ácido fosfórico en las industrias químicas, en Ecuador no existe una industria que se dedique a la producción de ácido fosfórico, así, debido a los permisos que se necesita actualmente para su explotación y, como resultado de este hecho, se ha generado la necesidad de obtener este reactivo químico por importación.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Las rocas fosfatadas es un tipo de mineral fosfatado con cristales hexagonales y dureza 5 en la escala de Mohs [11]. Se conoce con el nombre mineralógico de apatita y se caracteriza por contener cantidades elevadas de fósforo en su composición química [12]. Dependiendo de su origen las apatitas pueden tener características físicas, químicas y cristalográficas distintas [13]; las explotaciones de fosfato se originan en depósitos orgánicos constituidos por restos de seres vivos [15]. En la industria química, la materia prima que se usa para obtener todos los derivados del fósforo es la fosforita, ya que es un mineral que contiene fosfato tricálcico que aparece en la naturaleza en yacimientos de diferentes tipos [15]. Para la explotación de estos yacimientos, se elige depósitos sedimentarios de origen fósil que contienen capas horizontales de 3 a 10 metros de profundidad y están formados por pequeños nódulos que se descomponen de forma similar a la arena [15]. De esta manera, la sustracción de la fosforita, un material rico en fósforo, se lleva a cabo con excavadoras de gran tamaño que remueven el material estéril que forma que quede una superficie sobre ellos; a continuación, se extrae el mineral y, si se encuentra en estado sólido, se recoge con máquinas rozadoras, o en estado húmedo con cañones propulsados por agua [16], y se lleva a plantas de concentración de minerales en las que se separan los materiales inertes que están unidos a la fosforita [17]. En todas las plantas se pulveriza primero la roca, es decir, la mayor parte de la roca se muele hasta una finura aproximada de 70 a 80 %, a través de un tamiz de 200 mallas [7].

3. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL ÁCIDO FOSFÓRICO

El primer método de obtención se fundamenta en quemar vapores de fósforo y tratar el óxido resultante con vapor de agua [18]. Se obtiene mediante el tratamiento de rocas de fosfato de calcio con ácido sulfúrico, filtrando posteriormente el líquido resultante para extraer el sulfato de calcio [14]. Usualmente, el ácido fosfórico se almacena y distribuye en disolución [19]. El ácido obtenido en este procedimiento es muy rentable en el laboratorio debido a su resistencia a la oxidación, a la reducción y a la evaporación [20]. El segundo método de obtención es un proceso por vía húmeda, generalmente se utiliza Ácido sulfúrico para el ataque de la roca fosfórica en comparación con otros reactivos como el Ácido clorhídrico o Nítrico, ya que el sulfato cálcico que se ha formado por

este procedimiento es mucho más insoluble y fácil de separar que el cloruro y el nitrato [14]. AGUA REGIA: es una solución altamente corrosiva, despide humo en contacto con el aire y presenta un color amarillo debido a que está formado por la mezcla de ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado generalmente en la proporción de una en tres partes [21]; su composición es: 1 parte de HNO_3 y 3 partes de HCl [21]. La reacción química (Ver ecuación 1) descrita se expone a continuación:

$$2HNO_3 + 6\ HCl = 3Cl_2 + 2NO + 4H_2O \qquad (1)$$

4. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DE YACIMIENTOS DE ROCA FOSFÓRICA EN ECUADOR

Al observar los yacimientos existentes de roca fosfórica en nuestro país, se puede destacar la siguiente información: Localización geográfica: la roca fosfatada Napo (RFN), ocupa unos 800 km^2 en la provincia de Napo, en el nororiente ecuatoriano. Los yacimientos tienen como límites, al norte, los ríos Cofanes-Aguarico y, al sur, el río Quijos, los límites oriental y occidental coinciden con las coordenadas 77° 23' W cerca de la confluencia de los ríos Aguarico y Due y 77° 37' W en el flanco oriental del volcán Reventador [22].Niveles fosfáticos: el nivel basal denominado A consiste de hasta siete estratos de fosforita (Ao-A1...) intercalados con Lutitas negras a excepción de la primera intercalación que es caliza [22]. El espesor de los estratos varía entre 0.4 y 0.8 m siendo más grueso el estrato A3, el contenido de P_2O_5 en las fosforitas de los niveles A1-A2-A3 es de 20 a 35%, mientras que el de las Lutitas es de 3-14% [22]. El nivel intermedio B está caracterizado por estratos finos de fosforita y Lutitas fosfáticas (0.1 m), no teniendo ninguna importancia económica. El nivel superior C se localiza a pocos metros bajo el contacto Napo-Tena y consiste de dos niveles con fosforitas con espesores entre 0.1 a 1.0 m intercalados con Lutitas Silíceas, el contenido promedio de P_2O_5 de las fosforitas C1 - C2 está entre 15 y 20% [22]. Los estudios geológicos realizados en el flanco oriental del Reventador [22]:

Entre el año de 1984 y 1986 la empresa BRGM-CIEPER de Francia y la Escuela Politécnica Nacional, por encargo del INEMIN realizaron los ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y LA EXPLOTACIÓN DETALLADA DE FOSFATOS DE LA FORMACIÓN NAPO en la zona del Reventador a 80 Km de la vía Lago Agrio-Quito [22]. Como resultado de estos estudios, se ha establecido la existencia de tres niveles mineralizados con aproximadamente 166,5 a 205 millones de toneladas de fosfato [22], reservas que han sido cuestionadas por la Escuela de Minas de la Facultad de Geología, Minas Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, el motivo se debe a que se realizó el cálculo por simple extrapolación. En este estudio se determinó la existencia de las rocas fosfáticas en la zona del Volcán Reventador (Ver Figura 1) y que la formación de fosforitas se extienden hacia el Norte por el Río Dué, aumentando el espesor de las capas fosfóricas en esa dirección, por lo que la zona norte representaría un área de mayor interés prospectivo [23].



Figura 1. Roca Fosfórica de la Loma del Reventador. Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S.

En el periodo comprendido entre los años 1986 y 1988, la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleos de la Universidad Central del Ecuador, con el auspicio del CONUEP inició la ejecución del proyecto de investigación “PURIFICACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE MINERALES DE FOSFORITA”, del Área del Reventador en los afloramientos ubicados al borde del río Dué [22]. Se realizó el análisis mineralógico de las muestras, análisis químico, análisis granulométrico y el estudio de la purificación y concentración. Se determinó la Ley media de la arena fosfórica del yacimiento y se concluyó que las fosforitas constituyen una excelente materia prima para ser empleada en la elaboración de fertilizantes para la agricultura [23]. Hace aproximadamente diez años, la Escuela de Minas de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleos de la Universidad Central y el centro Agrícola de Montúfar de la provincia de Carchi realizaron un proyecto de campo con la utilización del material fosfórico procesado, obteniéndose resultados muy positivos de uso como fertilizante [23].

En el año 1988, la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleos presentó a la Corporación Andina de Fomento el proyecto para el “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA PARA LA EXPLOTACIÓN Y BENEFICIO MINERAL DE FOSFORITA”, proyecto que aparentemente no se concretó, pues no existe información posterior [23].

En el periodo comprendido entre los años 1996 y 2002, el FUNDACYT y la Universidad Central, suscriben un Convenio para la ejecución del Proyecto No. PBID-008 “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD Y TRATAMIENTO DEL MINERAL DE FOSFORITAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS”, suscrito el 13 de octubre de 1997. El Informe final se presentó en enero de 2002.

El estudio se realizó en la Loma del Tigre, parroquia Lumbaqui. Se determinó que en un área de 30 hectáreas existen 670.000 toneladas de reservas probadas, siendo las reservas probadas para toda la loma del Tigre de aproximadamente 29 millones de toneladas. Existen además otras lomas aledañas con reservas de roca fosfórica, como son las Lomas Reventador y Dué [23].

Con fecha 26 de marzo de 2010, la Empresa Nacional Minera (ENAMI EP) del Ministerio de Recursos no Renovables de la República del Ecuador y la Empresa CVG Minerven del Ministerio del Poder Popular para las Industrias Básicas y Minería de la República Bolivariana de Venezuela. Suscriben el acuerdo de cooperación para la constitución de la Empresa Grannacional Minera Mariscal Sucre (C.E.M) cuyo objetivo es establecer los términos al desarrollo conjunto de proyectos mineros en el Ecuador [23]. La empresa Grannacional Minera Mariscal Sucre (C.E.M) tiene previsto desarrollar los estudios de prospección preliminar de rocas fosfóricas en el área de concesión definida por la “GNMMS”, que se

encuentra ubicada en la provincia de Sucumbíos, Cantón Gonzalo Pizarro, parroquia Lumbaqui, sector “Volcán Reventador”, al nororiente del país. [23].

5. METODO Y MATERIALES

El método colorimétrico del Ácido Vanadomolibdofosfórico ha sido empleado en esta investigación para cuantificar la concentración de fósforo obtenido a partir de la roca fosfórica:

a) Ajuste del pH de la muestra: si el pH de la muestra es mayor de 10, añádanse 0,05 ml de indicador de fenoftaleína a 50,0 ml de muestra y decolórese el color rojo con HCl antes de diluir a 100ml

b) Eliminación del color de la muestra: elimínese el excesivo color de la muestra agitando unos 50 ml con 200 mg de Carbón activo en un erlenmeyer durante 5 minutos y filtrando para eliminar el carbón. Compruébense los fosfatos de cada lote de carbón porque algunos producen blancos con mucho reactivo.

c) Desarrollo de color en la muestra: póngase 35 ml de muestra o menos, conteniendo de 0,05 a 1,0 mg P, en un matraz aforado de 50 ml. Añádanse 10 ml de reactivo Vanadato-Molibdato y dilúyase hasta la señal con agua destilada. Prepárese un blanco con 35 ml de agua destilada en lugar de la muestra. Al cabo de 10 minutos o más, mídase la absorbancia de la muestra frente a un blanco a longitud de onda de 400 a 490 nm, en función de la sensibilidad deseada. El color es estable durante días y su intensidad no es afectada por las variaciones de temperatura ambiente.

- Cálculo para la determinación de fósforo (Ver ecuación 2):

$$mg\ P/l = \frac{mgP(en\ 50\ ml\ volumen\ final)x1000}{ml\ muestra} \tag{2}$$

- Materiales:

- Vasos de precipitados (250ml).
- Balón aforado (500ml)
- Cocineta.
- Termómetro.
- Medidor de pH.
- Varilla de Vidrio.
- Balanza Analítica.
- Espectrofotómetro Genesys 5
- Equipo de Reflujo.
- Reactivos: Ácido Sulfúrico al 96%.Ácido Clorhídrico al 35%.Ácido Nítrico al 65%.Sílice o arena. Molibdato Vanadato Hidróxido de Sodio. Agua Destilada.
- Insumos: Papel Filtro

6. RESULTADOS

Se ha determinado el contenido de ácido fosfórico presente en la roca fosfórica del Volcán reventador utilizando diferentes volúmenes de ácido sulfúrico como de agua. Los porcentajes de ácido fosfórico extraídos con ácido sulfúrico se detallan en la Figura 2:

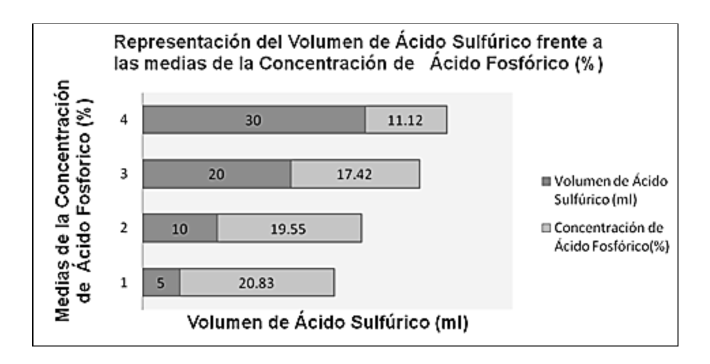


Figura 2. Representación del Volumen de Ácido Sulfúrico utilizado frente a las Medias de la Concentración de Ácido Fosfórico obtenido (%).Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S.

Los porcentajes de ácido fosfórico extraídos con agua regia se detallan en la Figura 3:

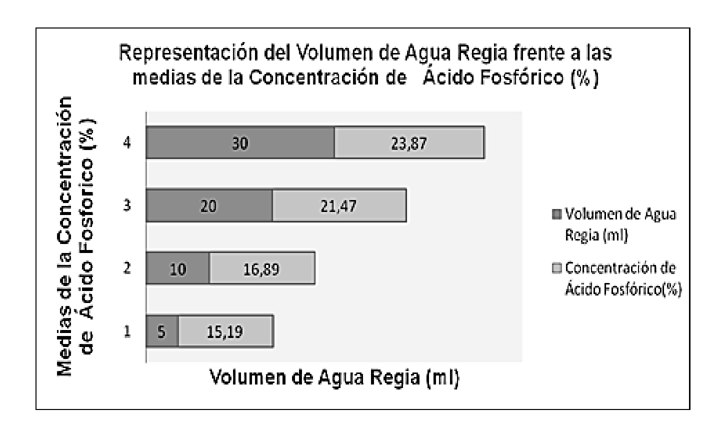


Figura 3. Representación del Volumen de Agua regia utilizado frente a las Medias de la Concentración de Ácido Fosfórico obtenido (%). Elaborado por:. Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S.

En la Figura 4, se puede apreciar la relación obtenida entre las concentraciones medias de ácido fosfórico obtenido frente a cada volumen de reactivo empleado:

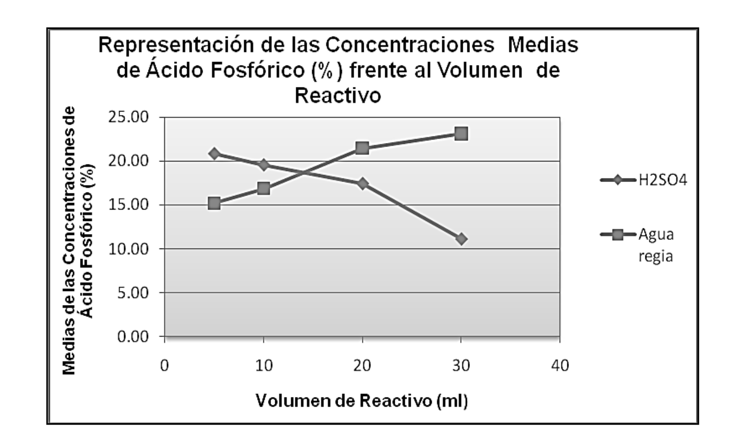


Figura 4.Representación del Volumen de Agua regia utilizado frente a las Medias de la Concentración de Ácido Fosfórico obtenido (%). Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S.

7. DISCUSIONES

El tipo de reactivo es una fuente de variación significativa ya que, si se utiliza Ácido Sulfúrico o Agua Regia, se observa en la Tabla 1.

ANOVA								
FACTORES	***Fuente de variación***	***SC***	***GL***	***CM***	***F***	***Probabilidad***	***F 95%***	***F 99%***
A:	Reactivos	2241331899	1	2241331899	7786.98**	$6.1429E^{-23}$	4.49	8.53
B:	Volúmenes	1647406870	3	549135623	1907.84**	$1.2161E^{-20}$	3.24	5.29
A x B:	Interacción	$2.7733E^{+10}$	3	9244278132	32117.05**	$1.9277E^{-30}$	3.24	5.29
	Error	4605293.65	16	287830.853				
	Total	$3.1626E^{+10}$	23					

** Se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 1. Análisis de Varianza. Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S

En la tabla 1, se observa las razones F están ligadas a pruebas de hipótesis que determina si existen diferencias significativas entre los elementos de un factor. Se concluye que existe diferencia significativa en al menos dos elementos de los factores si la razón F es mayor que el valor F crítico. En este caso el valor F crítico corresponde al fractil de la distribución de Fisher, donde es el margen para el error, en este caso, 1%. Las tres razones F son muy superiores a los valores críticos al 1%. El factor A confirma que existe diferencia significativa en el ácido fosfórico obtenido con el mismo volumen de los distintos reactivos. El factor B confirma que la diferencia es también significativa al variar los volúmenes

de un mismo reactivo. La razón F de la interacción confirma que el tipo de reactivo afecta el volumen necesario en el proceso.

Otra medida estadística importante es el coeficiente de variación. El CV indica la variabilidad de los resultados, es decir, representa cuán lejos de la media se encontrarán las repeticiones y, por lo tanto, cuán alejadas de la media estarán los resultados que se obtendrán posteriormente. El CV= 0,29% obtenido del análisis de varianza de la Tabla 1, se encuentran dentro de un rango de valores muy inferior al 1%, esto describe una variabilidad por demás baja. Esto es suficiente para decir que los resultados están estadísticamente ordenados, es decir, la diferencia que se aprecia entre las medias, es la diferencia real y significativa de los procesos.

En las Figuras 2 y 3 donde se representación las concentraciones medias de Ácido Fosfórico (%) frente al volumen de reactivo(mL), sugiere que la mayor concentración de Ácido Fosfórico se obtiene con un volumen de 30 mL de agua regia y, para el caso del Ácido Sulfúrico, se obtiene la mayor concentración con 5 ml de reactivo. Asimismo, se aprecia en la Figura 4, un punto de interacción en el gráfico entre las dos líneas, esto indica que existe un cambio significativo entre el tipo de reactivo y volumen de reactivo.

Al realizar las comparaciones múltiples de las medias de los volúmenes se aprecia que existen diferencias significativas entre los volúmenes, pero como excepción se encuentran los volúmenes 5 mL y 10 mL en los que no hay diferencia significativa(Ver tabla 2).

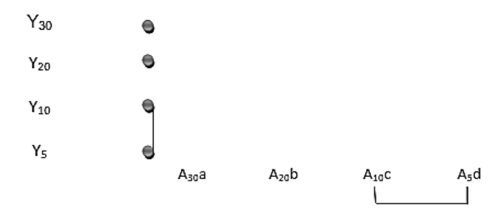


Tabla 2. Comparaciones múltiples de las medias. Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S

Además se ha determinado claramente cuáles son los procesos más óptimos, de modo que el mejor es el de 30 mL de agua regia seguido de los 20 mL de agua regia y, en consecuencia, el mejor de los tratamientos con ácido sulfúrico, es el de 5 mL pero por debajo de los 2 anteriores. Es pertinente mencionar que los diferentes reactivos también generan diferentes cantidades de subproducto (sulfato de calcio o yeso y cloruro de calcio, según el reactivo que se haya utilizado). Estas cantidades se muestran en la Figura 5.

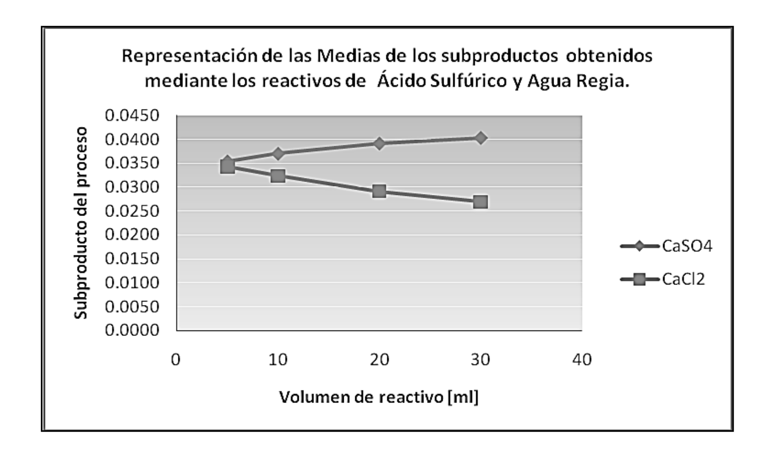


Figura 5. Representación de las medias obtenidas de los subproductos frente al volumen de reactivo. Elaborado por: Rodríguez Ayala, S., Mayorga, E., Rodríguez, M., Chacha, S.

La variabilidad es un poco mayor en este caso, se verifica con este análisis que los procesos que más ácido fosfórico generan, también son los que menos subproducto tienen. Nuevamente en esto tienen una ventaja más marcada los procesos con agua regia sobre los procesos con ácido sulfúrico. El proceso que menos subproducto genera es el agua regia con 30 mL, seguido de los demás procesos con agua regia (20 mL, 10 mL y 5 mL). Entre los procesos con sulfúrico el que menos subproducto genera es el de 5 mL. Esta última información confirma que el mejor proceso para extraer ácido fosfórico es con 30 mL de agua regia, y que, el mejor de los procesos con ácido sulfúrico, es el de 5 mL; por debajo de los procesos con agua regia.

8. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis de composición química de la roca fosfórica, se obtiene 1,27% de materia orgánica o humus. Al comparar este valor de materia orgánica con el porcentaje con el valor teórico que se encuentra entre 2- 3% de Materia Orgánica del Suelo (MOS), se puede deducir que el contenido de materia orgánica presente en la roca es el adecuado para el cultivo de suelos ya que absorbe mayor energía solar por su color oscuro, mejora la estructura del suelo optimizando la entrada y almacenamiento de agua a través de la formación de cavidades de aire, ofrece resistencia a la erosión, mejora la nutrición de las plantas y, por tanto, ofrece características aptas para ser utilizado como fertilizante.

Asimismo, dentro del análisis de la roca fosfórica, se puede distinguir la presencia de fluoruros (con un valor de 59,3 mg F^-/Kg roca) y de cloruros presente (con un valor de 1,95 mg Cl^-/Kg roca) con lo cual se puede observar que forma parte las ingentes variedades de apatitas; de esta manera, la roca fosfórica de la Loma del Reventador se encuentra clasificada como Fluoropatita. Además al comprobar, los datos teóricos de un nivel fosfático que contiene 7 estratos o niveles, el más elevado se encuentra en un porcentaje de (30-35% P_2O_5); en consecuencia, se concluye que la roca fosfórica de la Loma del Reventador, se encuentra en el nivel basal A, con un porcentaje de P_2O_5 muy elevado comparado a otros niveles fosfáticos.

Otro de los parámetros que ha sido analizado es su alcalinidad obteniéndose un pH= 7.7 (básico) debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos con un contenido de 0,04%.Igualmente, este valor permite determinar la presencia de impurezas en la roca fosfórica del tipo calcita. Además, al analizar otra de las impurezas presentes en la roca fosfórica, se ha podido apreciar un 13, 5% de Dióxido de Silicio.

Por otra parte, al llevar a cabo el procedimiento de extracción por vía húmeda del Ácido Fosfórico y realizar el análisis de Fósforo Total en la roca fosfórica con el espectrofotómetro Geneys 5, se obtuvo un valor de 23,88 % H_3PO_4 (35 % de P_2O_5), utilizando como reactivo Agua regia, en comparación con el 20,85 % H_3PO_4 (30% de P_2O_5) , haciendo uso del Ácido Sulfúrico como reactivo; en consecuencia, este valor indica que la roca fosfórica proveniente de la Loma del Reventador, al tener un contenido de Pentóxido de Fósforo superior al 15%, presenta una riqueza vastamente apropiada para ser comercializada en las industrias químicas ecuatorianas.

Además se debe tener en cuenta que, al utilizar Agua regia en el proceso de Obtención de Ácido Fosfórico, se generan vapores nitrosos que son perjudiciales para las salud, por lo que pueden causar irritación severa en los pulmones y edema pulmonar, además de quemaduras dérmicas [25]; asimismo, afectan al medio ambiente incrementando el efecto invernadero.

El análisis de varianza sugiere que el factor A: volumen de reactivo es una fuente de variación muy importante en la variable respuesta concentración de Ácido Fosfórico ya que dependiendo de volumen de reactivo se pudo distinguir la mejor concentración de ácido fosfórico.

Otra característica que se puede destacar en esta investigación, son los subproductos resultantes de la Obtención de Ácido Fosfórico, ya que, empleando dos tipos de reactivo para su extracción, se consiguió como precipitados sulfato cálcico y cloruro de cálcico. Además, se puede apreciar que, al obtener Cloruro Cálcico, este es significativamente más fácil de filtrar cuando se realiza el proceso de filtración en comparación con el Sulfato Cálcico, puesto que, a raíz de la cuantificación del tiempo empleado en filtrar este último subproducto.

REFERENCIAS

[1] Lieberman, S. & Pauling, N. (2007). The Real Vitamin and Mineral Book, 4th edition. New York, United States: Avery – Penguin Group

[2] Internacional Fertilizer Development Center. (2010). World Phosphate Rock Reserves and Resources. Alabama, United States: IFDC publications. Retrieved from: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw835.PDF

[3] Caballero, B., Finglas, P. y Toldrá, F. (2016). Encyclopedia of Food and Health. United Kingdom: Waltham: Elsevier

[4] Zhang, C., Li, Qianquan, Zhang, M., Li, M. (2012). Effects of rare earth elements on growth and metabolism of medicinal plants. Changchun, China: ScienceDirect. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211383 512001645

[5] Navarro, G. y Navarro, S. (2013). Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa

[6] Santos, S. (2010). Química y cultura científica. Madrid, España: UNED

[7] Zimdahl, R. (2015). Six Chemicals That Changed Agriculture. Colorado, United States: Elsevier

[8] Exner, A., Fleissner, P., Kranzl, L. & Werner, K. (2013). Land and Resource Scarcity. New York, United States: Routledge – Taylor & and Francis Group

[9] Lewis, W., Saunders, J. & Crumpacker, D. & Brendecke, C. (2012). Eutrophication and Land Use: Lake Dillon, Colorado. New York, United States: Springer-Verlag New York Inc.

[10] Thenkabail, P. (2016). Land resources monitorin, modeling and mapping with remote sensing. Boca Raton, United States: Taylor & and Francis Group [11] Burakov, B., Ojovan, M. & Lee, W. (2011). Crystalline Materials for Actinide Immobilisation. London, United Kingdom: Imperial Collegue Press [12] McConnell, D. (2011). Comprehensive biomaterials: metallic, ceramic and polymeric biomaterials. Waltham, Massachussets: Elsevier

[13] Zattin, M., Bersani, D. & Carter, A. (2006). Raman microspectroscopy: A non-destructive tool for routine calibration of apatite crystallographic structure for fissiontrack analyses. Rome, Italy: ScienceDirect-Elsevier. Retrieved from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254 107000630

[14] [2] Alan, G. (1993). "Química Inorgánica" 2da. Edición, Barcelona – España, 1993.

[15] Misch, C. (2009). Ciencias de la tierra: una introducción a ala geología física. Madrid, España: Pearson Educación

[16] Janben, E. (2004). Extraction of soluble Phosphorus in Soil, Sludge, Biowaste and Treated Biowaste. Países Bajos. Retrieved from: https://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor_desk_25_so lubleP_revised.pdf

[17] Zhang, M., Wright, D., Heaney, D. & Vanderwel, D. (2004). Comparison of different phosphorus extraction and determination methods using manured soils. Canadá. Retrieved from: http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/S02-023#.WBRDYeCLTIU

[18] Soinne, H. /2009). Extraction methods in soil phosphorys characterisation. Helsinki, Finlandia: Helsinki University Print. Retrieved from: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/20847/extra cti.pdf?sequence=1

[19] Vadas, P. Kleinman, P., Sharpley, A. & Turner, B. (2005). Relating Soil Phosphorus to Dissolved Phosphorus in Runoff: A Single Extraction Coefficient for Water Quality Modeling. Winsconsin, United States. Retrieved from: https://pdfs.semanticscholar.org/55cc/da76b01e250c95d93 1be960202fec4f28e1c.pdf

[20] Szögi, A. (2008). Phosphorus Recovery from Poultry Litter. Michigan, United States: American Society of Agricultural and Biological Engineers. Retrieved from: https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=25306

[21] Oliveira, V., Ottosen, M., Labrincha, J. & Dias, C. (2015). Valorisation of Phosphorus Extracted from Dairy Cattle Slurry and Municipal Solid Wastes

Digestates as a Fertilizer. Springer. Retrieved from: http://link.springer.com/article/10.1007/s12649-015-9466-0

[22] Córdova, J. (1991). “Roca Fosfatada Napo Como Fuente de Fósforo para Cultivos de Zonas Altas de Ecuador” (INIAP), Quito – Ecuador, 1991

[23] Aguirre, H. (2011). “Instituto Superior de Posgrado”. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Universidad Central del Ecuador [24] Franson, M. (1992). “Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales”. Edición, Madrid - España,

[25] Center of Disease Control and Prevention. (2016). Phosphoric acid. United States. Retrieved from: http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0506.html